АГРЕГАЦИОННЫЕ ОПЕРАТОРЫ В ОБРАБОТКЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ[1]

В.Г. Лабунец, А.П.Солдатченков *

[*]Екатеринбург, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», vlabunets05@yahoo.com

AGGREGATION OPERATORS FOR HYPERSPECTRAL IMAGE PROCESSING

V.G. Labunets, A.P Soldatchenkov

В настоящей работе термин гиперспектральные изображения» используются для изображений с более чем одной компонентой. Они представляют собой пакет изображений, полученных оптическими датчиками в различных частотных диапазонах с длинами волн $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$. Подобные изображения могут быть охарактеризованы как изображения, состоящие из n-мерных векторно-значных пикселей:

$$\vec{\mathbf{f}}(x,y)=\begin{bmatrix} f_{\lambda_1}(x,y) \\ f_{\lambda_2}(x,y) \\ \dots \\ f_{\lambda_n}(x,y) \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} f_1(x,y) \\ f_2(x,y) \\ \dots \\ f_n(x,y) \end{bmatrix} \tag{1}$$

где n - число различных оптических каналов. Мультицветная техника использует малое число спектральных компонент (меньше, чем n=10). Гиперспектральные системы используют несколько десятков и даже сотен спектральных каналов. Цветное RGB изображение является 3-канальным изображением.

Одной из важнейших проблем обработки гиперспектральных изображений является проблема агрегации гиперкомплексного изображения. Ее суть состоит в том, чтобы из всего множества канальных изображений некоторым образом синтезировать серое либо цветное изображения, содержащие в некотором смысле всю полезную информацию из всех каналов. В полной мере эта проблема в настоящее время не решена. Единственный известный в настоящее время метод основывается на преобразовании Карунена-Лоева [1]. В настоящее работе мы предлагаем новый метод, основанный на так называемых агрегационных операторах, широко используемых в многозначных и нечетких логиках.

Проблема агрегации состоит в объединении n измерений $(x_1, x_2, ..., x_n)$ некоторой физической или логической величины, где $x_k \in [0,1]$, $k = 1,2,..,n$, в одну величину:

$$y = \mathbf{Aggreg}(x_1, x_2, ..., x_n). \tag{1}$$

Естественно, что на оператор $\mathbf{Aggreg}: \bigcup_{n\in N}[0,1]^n \to \mathbf{R}$ необходимо наложить разумные ограничения с тем, чтобы величина y “достойным” образом представляла n величин $(x_1, x_2, ..., x_n)$, Что значит “достойным” зависит от задачи, подлежащей решению.

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 11-07-12017-офи_м и 12-07-12080-офи_м

Ряд авторов [2,3] предложили несколько фундаментальных ограничений, которым должны удовлетворять агрегационные операторы, например

$$\begin{aligned}
&1)\ y = \mathbf{Aggreg}(x) = x\\
&2)\ y = \mathbf{Aggreg}(0,...,0) = 0 \text{ and } \mathbf{Aggreg}(1,...,1) = 1,\\
&3)\ y = \mathbf{Aggreg}(x_l,...,x_n) \le \mathbf{Aggreg}(y_l,...,y_n),\\
&\quad \text{если } (x_l,...,x_n) \le (y_l,...,y_n).
\end{aligned} \tag{2}$$

Важное свойство операторов их симметрия. Для каждой перестановки σ символов $\{1,2,...,n\}$ агрегационный оператор должен удовлетворять следующему равенству:

$$\mathbf{Aggreg}(x_{\sigma(1)}, x_{\sigma(2)},..., x_{\sigma(n)}) = \mathbf{Aggreg}(x_1, x_2,..., x_n). \tag{3}$$

Еще одно фундаментальное ограничение, которое принимают во внимание

$$\min(x_1, x_2,..., x_n) \le \mathbf{Aggreg}(x_1, x_2,..., x_n) \le \max(x_1, x_2,..., x_n). \tag{4}$$

К числу наиболее популярных агрегационных операторов относятся следующие операторы:

1) Арифметическое среднее

$$\mathbf{Aggreg}(x_1, x_2,..., x_n) = \mathbf{Mean}(x_1, x_2,..., x_n) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i. \tag{5}$$

2) Взвешенное среднее

$$\mathbf{Aggreg}_{w_1 w_2 ... w_n}(x_1, x_2,..., x_n) = \mathbf{Mean}_{w_1 w_2 ... w_n}(x_1, x_2,..., x_n) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} w_i}\sum_{i=1}^{n} w_i x_i. \tag{6}$$

3) Среднее по Колмогорову

$$\mathbf{Aggreg}(x_1, x_2,..., x_n) = \mathbf{Kol}(x_1, x_2,..., x_n) = f^{-1}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f\left(x_i\right)\right) \tag{7}$$

для произвольной монотонной функции f.

4) Медиана, минимум и максимум

$$\mathbf{Med}(x_1, x_2,..., x_n),\ \mathbf{Min}(x_1, x_2,..., x_n),\ \mathbf{Max}(x_1, x_2,..., x_n). \tag{8}$$

Существуют другие многочисленные операторы. Исследуем возможность их применения для синтеза градиентных операторов гиперспектральных изображений. Пусть $\{M_k(i,j)\}_{k=1}^{4}$ - набор из четырех стандартных масок горизонтального, вертикального и двух диагональных дифференцирования с весами $\{w_k(i,j)\}_{k=1}^{4}$. Действуя каждым дифференциальным оператором на каждом из n каналов, получаем $4n$ продифференцированных изображений

$$\begin{aligned}
&\hat{f}_1^1(i,j) = \sum_{(k,l)\in M^1(i,j)} w^1(k,l) f_1(k,l), \ \dots, \hat{f}_1^4(i,j) = \sum_{(k,l)\in M^4(i,j)} w^4(k,l) f_1(k,l),\\
&\hat{f}_2^1(i,j) = \sum_{(k,l)\in M^1(i,j)} w^1(k,l) f_2(k,l), \ \dots, \hat{f}_2^4(i,j) = \sum_{(k,l)\in M^4(i,j)} w^4(k,l) f_2(k,l),\\
&\qquad\qquad\qquad\qquad\dots\dots\dots\dots\dots\\
&\hat{f}_n^1(i,j) = \sum_{(k,l)\in M^1(i,j)} w^1(k,l) f_n(k,l), \ \dots, \hat{f}_n^4(i,j) = \sum_{(k,l)\in M^4(i,j)} w^4(k,l) f_n(k,l)
\end{aligned} \tag{9}$$

из которых с помощью агрегационных операторов собираем серое продифференцированное изображение по следующим законам

$$\hat{f}_1^1(i,j) = \mathbf{Aggreg}\left(\hat{f}_1^1(i,j),\dots,\hat{f}_1^4(i,j);\ \hat{f}_2^1(i,j),\dots,\hat{f}_2^4(i,j);\ \dots;\hat{f}_n^1(i,j),\dots,\hat{f}_n^4(i,j)\right) \tag{10}$$

В качестве примера на рис.1 представлено исходное четырехканальное изображение, а на рис.2 его продифференцированные версии с использованием различных агрегационных операторов.

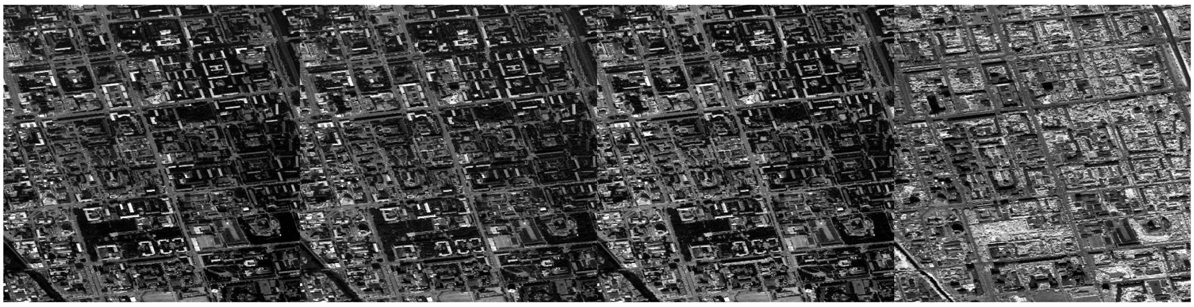

Рис.1. Исходное четырехканальное изображение

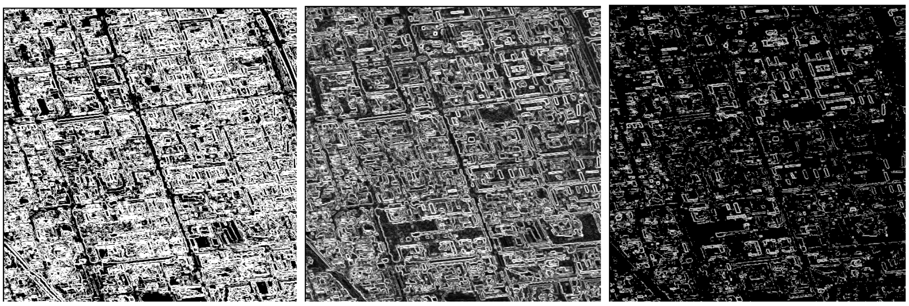

Рис.2. Три версии продифференцированного изображения с агрегационными операторами типа **Max**, **Med**, **Mean**

Литература

1. Jia X., Richards J.A. Segmented principal components transformation for efficient hyperspectral remote sensing image display and classification // IEEE Trans. On geoscience and Remote Sensing, January, 1999, Vol. 37, pp. 538-542
2. Mayor, G. and Trillas E., On the representation of some Aggregation functions. Proceeding of ISMVL, 1986, pp. 111-114
3. Ovchinnikov, S., On Robust Aggregation Procedures, Aggregation Operators for Fusion under Fuzziness. Bouchon-Meunier B. (eds.), 1998, pp. 3-10